



Het ecologisch belang van het Friese Front

H. Lindeboom (IMARES), A.D. Rijnsdorp (IMARES), R. Witbaard (NIOZ), D. Slijkerman (IMARES), M. Kraan (IMARES)

IMARES rapport
C137/15A

Het ecologisch belang van het Friese Front

Auteur(s): H. Lindeboom (IMARES), A.D. Rijnsdorp (IMARES), R. Witbaard (NIOZ), D. Slijkerman (IMARES), M. Kraan (IMARES)

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Milieu
T.a.v.: Bas Weenink
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Publicatiedatum: 30 oktober 2015

IMARES Wageningen UR
Den Helder, oktober 2015

IMARES rapport C137/15A

© 2015 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V15.1

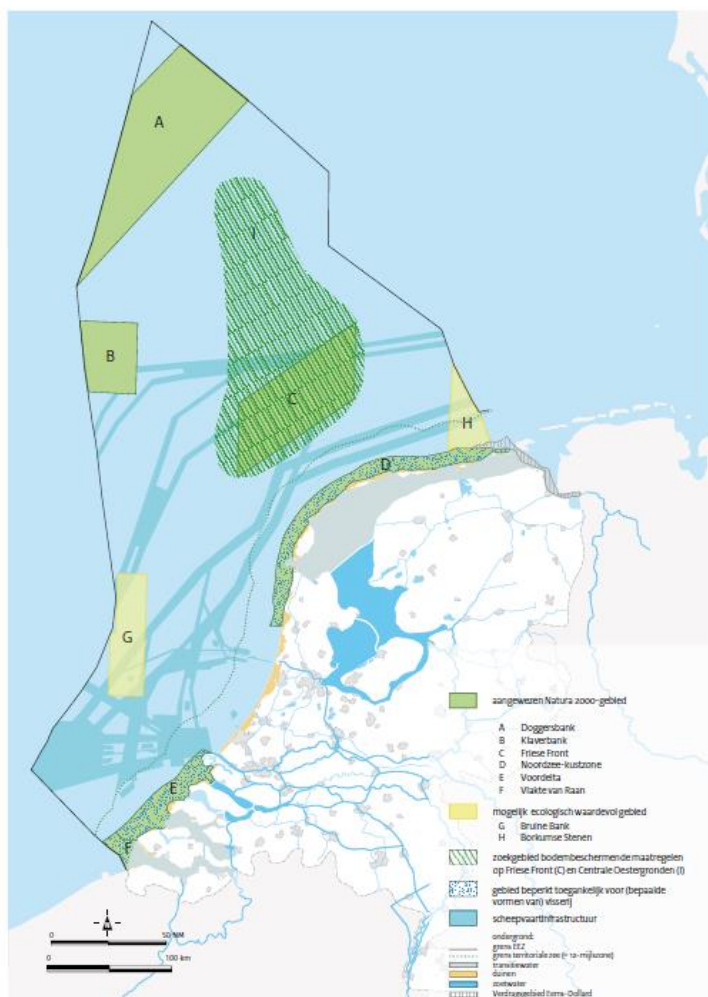
Inhoud

1	Inleiding	4
2	Wat is het Friese Front?	7
3	Wat is het ecologisch belang van het Friese Front?	11
4	Hoe kan bij gebiedskeuzes rekening gehouden worden met de specifieke kenmerken van het Friese Front?	12
5	Kunnen deze kenmerken vertaald worden in criteria voor de MKBA?	18
6	Conclusie	19
	Kwaliteitsborging	20
	Literatuur	21
	Verantwoording	23

1 Inleiding

De Nederlandse overheid (ministeries Infrastructuur en Milieu en Economische Zaken) bereidt zich voor op het nemen van bodembeschermende maatregelen voor het Friese Front (FF) en de Centrale Oestergronden (CO). Deze gebieden zijn in de Nederlandse Mariene Strategie (deel 1) aangewezen als zoekgebied voor aanvullende ruimtelijke beschermingsmaatregelen (zie figuur 1) (Ministerie van Infrastructuur & Milieu (I&M) en Economische Zaken (EZ) 2012:13). Het Friese Front en de Centrale Oestergronden zijn om twee redenen aangewezen als *aanvullende* gebieden. Ten eerste omdat er zo slibrijke gebieden, toegevoegd worden aan de gebieden die al voor bescherming zijn aangewezen vanuit N2000 zoals zandbanken en natuurlijke harde substraten. Ten tweede omdat de overheid zich ten doel gesteld heeft 10-15% van het Nederlandse deel van de Noordzee 'te vrijwaren van noemenswaardige bodemberoering' en tot nu toe dat percentage nog niet verwezenlijkt heeft (Ministerie van I&M en EZ 2014:53,55).

De bodembeschermende maatregelen op het Friese Front en de Centrale Oestergronden zijn onderdeel van het programma van maatregelen behorend bij de Kaderrichtlijn Mariene Strategie en uitgewerkt in de Nederlandse Mariene Strategie (deel 3). De algehele doelstelling van de overheid voor het mariene ecosysteem is de trend van verslechtering als gevolg van schade aan bodemhabitat en aan de biodiversiteit om te buigen naar een ontwikkeling in de richting van herstel (Ministerie van I&M en EZ 2014:43).



Figuur 1. Zoekgebied bodembeschermende maatregelen op Friese Front (C) en Centrale Oestergronden (I) (Ministerie van I&M en EZ 2014:56).

De overheid betreft stakeholders (NGO's en visserij) in het proces om te komen tot beschermende maatregelen. Daarin worden zij gevraagd om kennis en percepties te delen en hun belangen te behartigen (Ministerie van I&M en EZ 2014:56). Ook de onderzoeksinstituten (IMARES en LEI) delen op die bijeenkomsten kennis en bespreken de voortgang van lopend onderzoek. De overheid probeert op basis van al deze input, zowel vanuit de wetenschap als vanuit de stakeholders, om binnen vooraf gestelde randvoorwaarden en uitgangspunten (zie box 1), te komen tot beschermde gebieden.

Box 1 Randvoorwaarden en uitgangspunten van de aanvullende maatregelen KRM in kader GVB: bodembescherming Friese Front en Centrale Oestergronden

Randvoorwaarden zijn:

- de ambitie om 10 tot 15 procent van het Nederlandse deel van de Noordzee te vrijwaren van noemenswaardige bodemberoering (inclusief delen van de al aangewezen habitatrichtlijngebieden Doggersbank, Klaverbank, Noordzeekustzone en Vlake van de Raan) en
- het tot een minimum beperken van de last voor de visserijsector.

De uitgangspunten:

- De gebieden op het Friese Front en de Centrale Oestergronden waarvoor bodembeschermende maatregelen gaan gelden omvatten minstens 1200 km² (minimaal 2% van het Nederlandse deel van de Noordzee). Voor dit gebied of deze gebieden zal visserij die de bodem noemenswaardig beroert, niet meer toegestaan zijn. Het zoekgebied is weergegeven in fig. 1.
- De maatregelen zijn gericht op het beschermen van de ecologisch meest waardevolle gebieden en waar mogelijk herstel van het bodemecosysteem.
- Binnen het zoekgebied wordt één gebied of worden enkele gebieden aangewezen voor bodembeschermende maatregelen; daarmee wordt versnippering voorkomen. Gebieden moeten voldoende groot zijn om ecologisch waardevol te zijn en (zoveel mogelijk) verschillende habitats en gradiënten te kunnen bevatten, zoals in diepte of slibrijkheid; zones met verschillende regimes te kunnen bevatten zodat effecten van verschillen in beschermingsregimes kunnen worden geëvalueerd; effectief en kostenefficiënt te kunnen monitoren; en effectief en kostenefficiënt te kunnen handhaven.
- Binnen het gebied of de gebieden waarvoor bodembeschermende maatregelen gelden, zullen delen worden aangewezen waarin geen enkele vorm van visserij plaatsvindt ('no-take'). In andere deelgebieden zullen vistechnieken worden toegelaten met een niet noemenswaardig effect op het zeebodemecosysteem (de mate van bodemberoering is afhankelijk van de aard van de bodem en het gebruikte vistuig). Bij de ruimtelijke invulling van de maatregelen wordt rekening gehouden met het principe van minimale lasten voor de visserij. Deelgebieden moeten zorgvuldig worden gekozen, zodat onderlinge vergelijking van de twee beschermingsregimes mogelijk is.
- Bij het vaststellen van de economische impact van maatregelen zal rekening gehouden worden met verschillende vistechnieken en met Nederlandse en buitenlandse vissers. Daarbij worden actuele visserijgegevens gebruikt. Ook zal rekening worden gehouden met huidige en toekomstige belangen van vissers ter plaatse en de ontwikkeling naar een duurzamere visserij.
- Er wordt een maatschappelijke kosten-batenanalyse opgesteld van de mogelijke maatregel(en). Daarbij zullen eventuele effecten (sociaaleconomisch; ecologisch) als gevolg van mogelijke verplaatsing van visserij meegenomen worden, alsook lokale effecten op visserijgemeenschappen.

Bron: Ontwerp Mariene Strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2012-2020 (deel 3) 49-51.

Op één van de stakeholder bijeenkomsten waar stakeholders, overheid en onderzoekers kennis deelden (17 april 2015) benadrukten de aanwezige onderzoekers dat het Friese Front een uniek gebied is. Het is een gebied waarin zeestromen samenkomen en dat zich kenmerkt door diepteverschillen over een relatief korte afstand resulterend in een grote variatie aan bodemtypen en -soorten.

De overheid heeft IMARES en NIOZ gevraagd om die uniciteit nader te beschrijven en aan te geven of, en in hoeverre, bij het ontwerpen van de beschermde gebieden in het zoekgebied rekening gehouden kan worden met aspecten die horen bij die uniciteit van het Friese Front. Deze wens hangt samen met

de randvoorwaarde dat de overheid graag de ecologisch meest waardevolle gebieden wil beschermen (zie box 1).

Methode en afbakening

De gepresenteerde informatie in dit rapport is een weergave van de diverse wetenschappelijke inzichten met betrekking tot gebiedsbescherming op de Noordzee. De kwaliteit van die inzichten verschilt, soms gaat het om feiten (directe waarnemingen in het veld), soms om modelvoorspellingen, en soms om gevolgtrekkingen uit wetenschappelijke kennis of aannames. In dit rapport proberen we deze kwaliteitsverschillen zo goed mogelijk aan te geven. We denken dat het stakeholderproces dat de overheid volgt, gebaat is bij zoveel mogelijk transparantie over de (kwaliteit van de) wetenschappelijke inbreng, zodat dit meegewogen kan worden in de maatschappelijke / politieke beslissingen.

Eerst is schriftelijk door de drie eerste auteurs op de vragen ingegaan, vervolgens is er een werkbijeenkomst gehouden met alle auteurs waarin Lindeboom, Rijnsdorp en Witbaard hun inzichten konden toelichten, met als kerndoel verschillen van inzicht te bespreken. Vervolgens is de initiële tekst door Kraan en Slijkerman aangepast op basis van de opname van de werkbijeenkomst en uitgewerkt tot dit rapport. De eerste drie auteurs hebben vervolgens het rapport afgemaakt, daarbij zijn zoveel mogelijk bronverwijzingen toegevoegd. Tot slot is het rapport gereviewd. Voor de beschrijving van de uniciteit van het Friese Front of voor de beschrijving van minimale afmetingen van reservaten is geen aanvullend onderzoek gedaan.

Vraagstelling

De volgende vragen staan centraal:

1. Wat is het Friese Front?
2. Wat is het ecologisch belang van het Friese Front; uit welke kenmerken bestaat dat ecologische belang van het Friese Front en is dit uniek?
3. Hoe kan bij gebiedskeuzes rekening gehouden worden met de specifieke kenmerken van het Friese Front?
4. Kunnen deze kenmerken vertaald worden in criteria voor de MKBA¹?

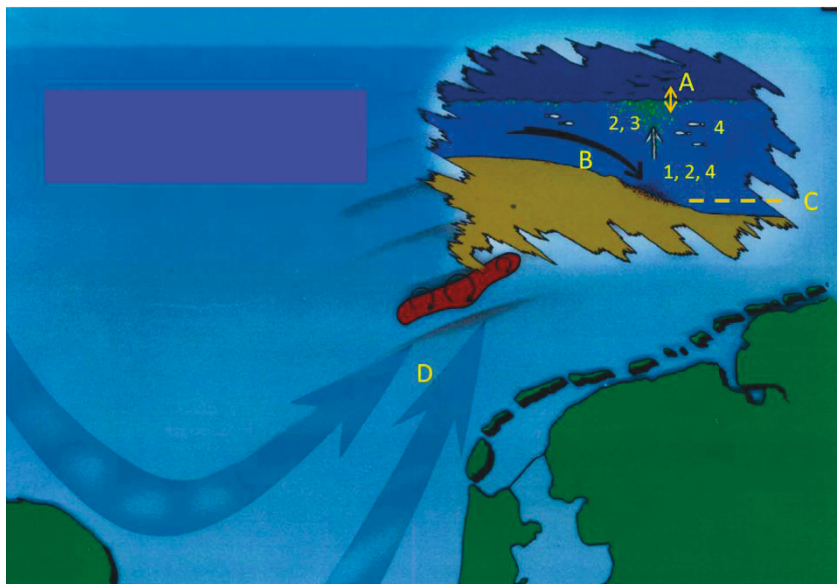
¹ De MKBA (maatschappelijke kosten baten analyse van KRM maatregelen) betreft een studie die parallel aan deze uitwerking wordt uitgevoerd. In deze studie dienen relevante ecologische criteria te worden opgenomen.

2 Wat is het Friese Front?

Het Friese Front is een overgangsgedied in bodemgesteldheid en fauna veroorzaakt door hydrografische fenomenen in combinatie met een toenemende diepte. Het ligt op ongeveer 75 km uit de kust boven Den Helder en de Waddeneilanden. De volgende vier fysische fenomenen spelen een rol in dit gebied (zie figuur 2 voor een schets):

- twee hoofdstromen, één vanuit de Engelse kust en één vanuit het Kanaal, komen bij elkaar, waardoor verschillende waterkwaliteiten gemengd worden. De positie waar deze stromen bij elkaar komen varieert iets in de tijd en plaats. Dit is het hydrografische front.
- afname van de stroomsnelheid door het snel toenemen van de diepte, waardoor deeltjes (slib en organisch materiaal) uitzakken.
- hier komen de laagste maximale getijstroomsnelheden van het NCP voor, waardoor de actuele stroomsnelheid ook lager is dan in het omringende gebied (De Gee & Ridderinkhof, 1991).
- het gebied ligt op de zuidgrens waar de zomerstratificatie plaatsvindt (Chen et al., 2002). De mate van stratificatie is afhankelijk van temperatuur en wind, en kan in ruimte en tijd iets in positie variëren. De menging zorgt voor transport van bodemwater rijk aan voedingsstoffen naar het oppervlak, waar vervolgens een hogere primaire productie plaatsvindt.

Het Friese Front



4 Fenomenen

A. Getij minimum, lagere stroomsnelheid

B. Wordt snel dieper, lagere stroomsnelheid, uitzakken deeltjes

C. Grens zomerstratificatie (upwelling)

D. Bij elkaar komen 2 hoofdstromingen

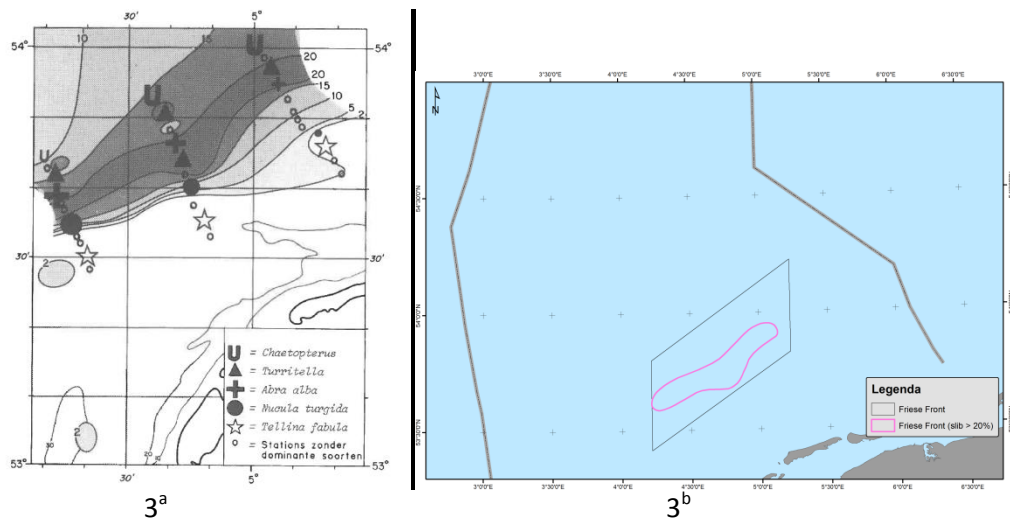
Gevolgen: verrijkte bodem (1) vrijkomen nutriënten (2)
hoge biomassa en diversiteit algen (3) bodemdieren, vissen en vogels (4)

Figuur 2. Een artist impression van de verschillende fenomenen en processen die het Friese Front uniek maken. Het rode vlakje is het Friese Front. Het vlak rechtsboven betreft een dwarsdoorsnede van de waterkolom met daarin getekend de waterkolom en de bodem. De letters en cijfers in de tekening corresponderen met de tekst onder en aan de zijkant.

Daarnaast resulteert de hogere organische stofbelasting van de bodem (uitzakken van slib en organisch materiaal naar de bodem) op grond van het gemeten redox potentiaal waarschijnlijk ook in een grotere nalevering van nutriënten, vrijgemaakt door mineralisatie door bodemorganismen, naar het bovenstaande water waardoor de primaire productie nog verder gestimuleerd wordt. Dit is een microbiologisch-chemisch fenomeen (Baars et al., 2002).

Dit samengaan van processen maken het Friese Front een uniek gebied in de Noordzee, en voor zover bekend ook mondiaal. Op grond van bestudering van oceaankaarten liggen alleen bij New Foundland (Canada) en bij Korea/Japan soortgelijke zeegebieden (zeeën met zowel noord- als zuidgangen), maar die zijn zo anders van vorm, diepte en ligging (aan de Oostkant i.p.v. aan de Westkant van het continent) dat de kans dat daar dezelfde processen samenvallen zeer klein is.

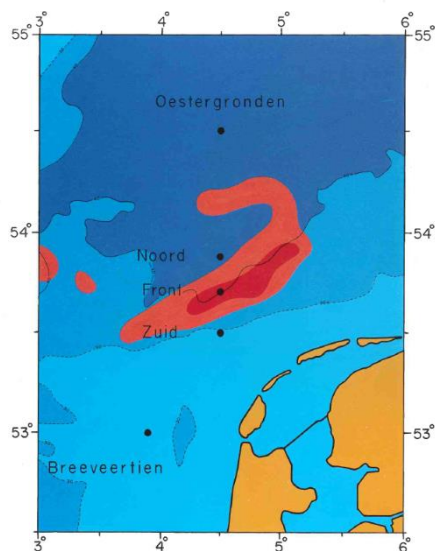
De verschillende hydrografische fenomenen hebben geresulteerd in een grote verscheidenheid aan sedimenttypen², met elk een specifieke fauna (zie figuur 3), die parallel lopen aan de dieptelijnen (onderzoek van Creutzberg (1985), Creutzberg *et al.* (1984) samengevat in De Gee *et al.* (1991). Van zuid naar noord zijn in het gebied meerdere sedimenttypen te onderscheiden gaande van zand in het zuiden via het hydrografische front naar een zeer slibrijke bodem in het noorden. Deze noordrand van het Friese Front gaat geleidelijk over in de Centrale Oestergronden. De slibgradiënten in de bodem en de aanvoer van organisch materiaal creëren een aantal verschillende habitat typen die als banden parallel aan het fysische front (de kern van het gebied) liggen.



Figuur 3a. Het voorkomen van enige dominante soorten langs drie transecten over het Friese Front gebied in relatie tot slibgehalte van het sediment (uit Creutzberg *et al.* 1984). **Fig. 3b.** De ligging van het geografische Friese Front (rode contour) en de ligging van het Friese Front gebied met bijzondere ecologische waarden (grijsgroen contour).

Dit fysische front is de oorzaak van een slibrijke zone, 15 tot >20% slib (Creutzberg *et al.*, 1984; Creutzberg 1985), verrijkt met organisch materiaal, van zo'n 100 km lang en 15 km breed, gelegen tussen de 30 en de 40 meter dieptelijne. Dit is het donkerrode gebied in figuur 4. Dit slibrijke gebied is in de Gee *et al.* (1991) gedefinieerd als de geografische locatie van het Friese Front, het hydrografische Front bevindt zich voor zover bekend vrijwel altijd binnen dit gebied.

² Het woord habitattypen is niet gebruikt omdat het verwarrend kan zijn in verband met de toegepaste definities van habitats in het beleid en de habitatrichtlijn. Het woord sedimenttypen omvat in deze context de ecologische habitattypen.

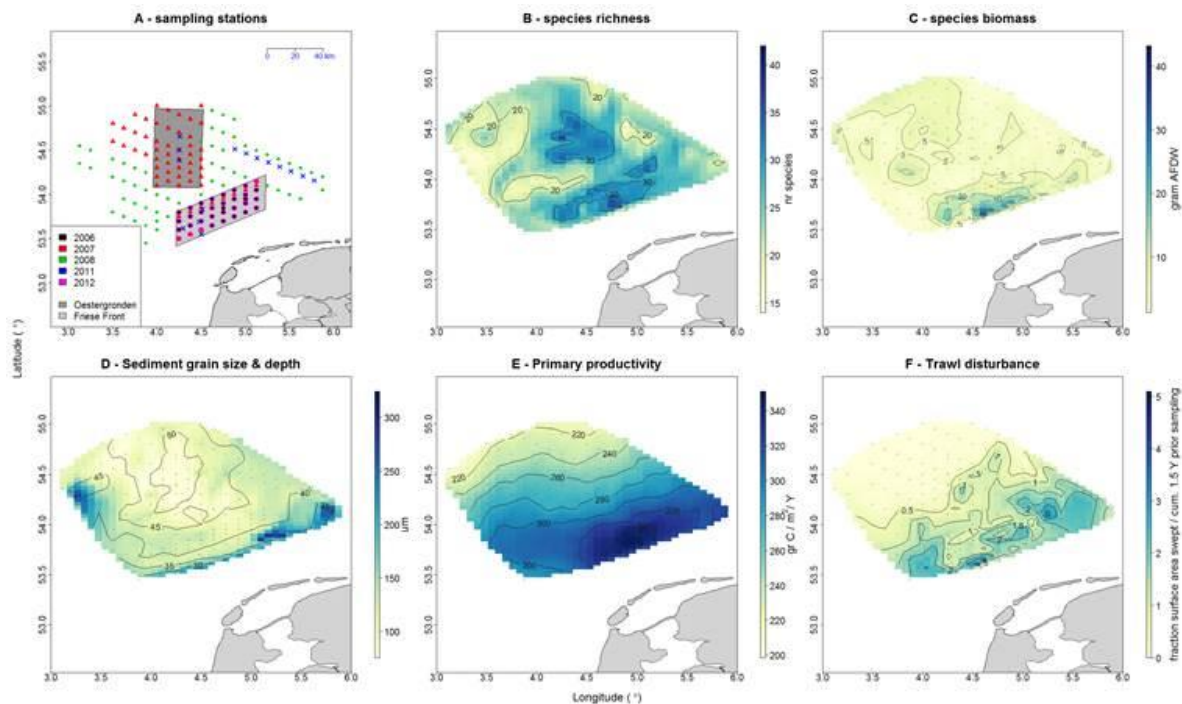


Figuur 4. De ligging van het Friese Front zoals oorspronkelijk gedefinieerd in de Gee e.a. (1991) als zijnde het gebied met slibgehalte >20% (donker rood). Het lichtrode gebied is de zone met een slibgehalte >15%.

Gebaseerd op box corer³ bemonstering wordt het Friese Front gekenmerkt door een relatief hoog aandeel van langlevende soorten, soorten met planktonische larven, en een iets minder dan gemiddeld aandeel van soorten met pelagische eieren en/of larven (van Denderen et al. 2015). De verhoogde secundaire productie heeft zijn weerslag op de hele voedselketen, dus ook voor vis en vogels die aan het oppervlak foerageren.

Systeem-eigen factoren als diepte, sediment, en primaire productie, en totale biomassa blijken bepalend te zijn in het verschil in soortenvoorkomen en de biomassa van soorten op het Friese Front en de Centrale Oestergronden (Zie figuur 5 uit Van Kooten ea. (2015)). Uit deze studie blijkt tevens dat soorteigenschappen in de gebieden van elkaar verschillen als gevolg van de systeem-eigen factoren (sediment, primaire productie), maar óók als gevolg van visserij intensiteit. Het is gebleken dat het aandeel van de visserij hierin lastig te ontrafelen is omdat de systeem-eigen factoren niet onafhankelijk zijn van visserij. Soorten én visserij komen samen voor in productieve gebieden als het Friese Front. De gegevens in Van Kooten ea (2015) laten tevens zien dat onder invloed van visserij soorten die korter leven toenemen in biomassa ten koste van soorten die langer leven. Het effect van visserij op de grote soorten is wel zichtbaar, maar minder uitgesproken in deze analyse. Van Kooten et al., 2015 veronderstellen dat dit hoogst waarschijnlijk het resultaat is van het feit dat grote soorten niet meer aanwezig zijn in de dataset en daarom in de analyse beperkt bijdragen.

³ The Box corer is een marien geologische bemonstering hulpmiddel voor zachte sedimenten op zee



Figuur 5. Kaarten van de macrozöo-benthos stations en de variabelen die bestudeerd zijn. De bemonstering vond plaats tussen 2006 en 2012 op de Nederlandse EEZ (alle punten). Kaartjes B–F zijn gemaakt d.m.v. punt interpolatie van het gemiddelde over alle jaren per station voor soortenrijkdom (B, kleur schaal; aantal soorten), soorten biomassa (C, kleur schaal; gram AFDW/bemonstering), sediment korrel grootte met diepte contouren (in meters) (D, kleurschaal; μm), primaire productie (E, kleur schaal; $\text{gr C/m}^2/\text{y}$), en bevissingsintensiteit (F, kleur schaal; fractie van bevist oppervlak in een periode van 1,5 jaar voor bemonstering). (Van Kooten et al., 2015)

De positie van het hydrografische front varieert doordat het wordt beïnvloed door veranderende oceaanstromingen en bijvoorbeeld wind, maar is altijd aanwezig binnen het parallellogram het gebied dat ooit is ingetekend als het Friese Front (zie figuur 3b) in het rapport over ecologisch bijzondere gebieden (Lindeboom et al. 2005). Bij het intekenen van het parallellogram is niet alleen rekening gehouden met de bodemgesteldheid en de fysische processen maar zijn ook het voorkomen (diversiteit en biomassa) van bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren meegewogen. Met name de bodemfauna speelde daarbij sterk mee omdat die in de ruimte min of meer vast ligt. Het gebied, omsloten door het parallellogram is dus in zijn geheel van bijzondere ecologische betekenis. Het vrijkomen van nutriënten uit de organisch rijke bodem stimuleert algengroei (Baars et al 2002), en vormt de basis voor het voorkomen van zoöplankton, vissen, en hogere trofische niveaus zoals zeevogels (o.a. Leopold 1991).

3 Wat is het ecologisch belang van het Friese Front?

De ecologische uniciteit van het Friese Front is gelegen in *de combinatie* van hydrografische processen en de daaruit voortvloeiende bodem en fauna samenstelling (zie figuur 1-4).

Het Friese Front is (samen met de Centrale Oestergronden) niet het enige slibrijke gebied van de te beschermen gebieden op het NCP, maar uniek door de combinatie van een grote verscheidenheid aan zeebodem sedimenttypen en bijbehorende fauna op een relatief kleine oppervlakte met een steile gradiënt van omgevingsfactoren (zie sectie 1). Het gebied wordt gekenmerkt door een grote diversiteit, hoge biomassa en hoge productie van bodemdieren.

De afzonderlijke componenten (bodem en benthos soorten) waaruit het Friese Front is opgebouwd worden, ieder afzonderlijk, ook op andere locaties in de Noordzee gevonden. De uniciteit van het Friese Front is dat deze componenten op relatief korte afstand bijeen liggen waardoor er een onderlinge samenhang is en een hogere biodiversiteit en productie door de verschillende overgangen van fysische omstandigheden. Door het voorkomen van de diverse gradiënten is het Friese front in bio/ecologisch opzicht meer dan de optelsom der delen. Het front omvat in feite een groter palet aan waardevolle omstandigheden waarin veel verschillende soorten hun potentiële niche kunnen vinden.

Afgezien van het belang voor benthos is het Friese front ook een belangrijke tussenstop voor zeevogels en een foerageergebied voor zeekoeten. Dat laatste is inherent gekoppeld aan het feit dat het gebied een hydrografisch front is met hoge primaire productie en planktonproductie en het voorkomen van vis (sprot en haring) (Sprong et al. 1990) en daarnaar duikende zeekoeten (Camphuysen en Leopold 1991).

Genoemde aspecten als biologische productiviteit en diversiteit, maar ook de unieke (fysiologische) kenmerken van het Friese Front, zijn drie van de zeven wetenschappelijke criteria⁴ om biologische of ecologische speciale gebieden te onderscheiden, zoals benoemd in de Convention on Biological Diversity (CBD) (EBSA, 2008).

⁴ 7 criteria van de CBD zijn om biologisch significante gebieden te beoordelen: 1. Uniek of zeldzaam, 2. special belang voor diverse levensstadia van soorten, 3. belang voor bedreigde of afnemende soorten en / of habitats, 4. Kwetsbaarheid, breekbaarheid, gevoeligheid, of langzaam herstel, 5. Biologische productiviteit, 6. Biologische diversiteit, 7. Natuurlijkheid. (Ebsa, 2008; <https://www.cbd.int/ebsa/about>)

4 Hoe kan bij gebiedskeuzes rekening gehouden worden met de specifieke kenmerken van het Friese Front?

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven, is het ecologisch belang van het Friese Front gelegen in de combinatie van hydrografische en morfologische factoren die samen resulteren in verschillende sedimenttypen en verschillende faunagemeenschappen met een hoge productiviteit en biodiversiteit. In de parallellogram komen al deze typen voor waardoor het gebied als geheel een bijzondere ecologische waarde heeft. De uiteindelijke grootte en locatie van beschermde gebieden is een maatschappelijke/politieke keuze en geen wetenschappelijke. De overheid heeft een aantal randvoorwaarden gesteld (zie box 1) waarlangs zij, op basis van overleg met stakeholders en input van de wetenschap, tot een gebiedskeuze wil komen. In dit proces is een aantal varianten geschetst. Die varianten zijn allemaal min of meer geplaatst in en om de zoekgebieden op het Friese Front en de Centrale Oestergronden. Bij de gebiedskeuze zal een maatschappelijke afweging gemaakt worden tussen enerzijds de ecologische waarde en anderzijds de impact voor de visserij.

IMARES is gevraagd te bepalen in hoeverre bij die gebiedskeuzes rekening gehouden kan worden met de specifieke kenmerken en de ecologische waarde van het Friese Front. Vanuit wetenschappelijk oogpunt (biologisch/ecologisch perspectief) heeft gebiedsbescherming vooral een toegevoegde waarde als er een ecosysteembenadering, d.w.z. betrekken van alle componenten zoals sedimenttypen en soortgroepen (bodemdieren, vissen en vogels), wordt gevolgd (Christensen *et al.*, 1996, McLeod *et al.* 2005, McLeod en Leslie 2009) en gebieden voldoende groot zijn (Bergman *et al.*, 1991). Te kleine gebieden of een focus bij de keuze op bescherming van specifieke en "losse" componenten van het systeem kan de effectiviteit van de te behalen beschermingsdoelen reduceren.

Box 2 Zeebodintegriteit (descriptor 6) – KRM

De goede milieutoestand voor de integriteit van de zeebodem is bereikt als deze de structuur en de functies van ecosystemen waarborgt en voorkomt dat vooral benthische ecosystemen onevenredig worden aangetast.

De subdoelen voor bodembescherming en bodemhabitats in het NL deel van de Noordzee zijn:

- verbetering van de omvang, conditie en verspreiding van populaties langlevende en of kwetsbare (voor fysieke beroering gevoelige) benthossoorten.
- Het min of meer gelijk blijven van de verspreiding en de omvang van overheersende (predominante) habitattypes
- De landelijke doelstellingen van de Habitatrichtlijn, alleen voor de speciale habitattypes die onder de habitatrichtlijn zijn beschermd
- Aanvullend hierop, verbetering van de kwaliteit van de diepere slibrijke delen en diepere niet-dynamische zandbodems. De kwaliteit van habitats heeft betrekking op de fysieke structuur, ecologische functie en de diversiteit en structuur van de geassocieerde soortgemeenschappen
- Vrijwaring van 10-15% van het bodemoppervlak van noemenswaardige beroering door menselijke activiteiten.

Bron: Ontwerp Mariene Strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2012-2020 (deel 3) 49-51.

Hoewel de KRM met zijn descriptoren een ecosysteembrede aanpak vraagt, heeft de Nederlandse overheid de nadruk primair gelegd op het benthos en de zeebodem sedimenttypen en de bijhorende processen en hun samenhang (Ministerie van I&M en EZLI, 2014). Dat maakt dat in de besprekingen over gebiedskeuzes primair naar bodems en benthos gekeken wordt en dat in de aangewezen zoekgebieden op basis van individuele parameters (bijvoorbeeld slibrijke grond of gebieden met

een hoge dichtheid aan langlevende benthos soorten) gezocht wordt naar potentieel kansrijke gebieden die in aanmerking komen voor bescherming. Eén van de consequenties van deze aanpak is dat er mogelijk een beeld ontstaat dat, als het gaat om bodembescherming, er diverse gebieden zouden zijn die onderling uitwisselbaar zijn. Als men zich meer op het ecosysteem als geheel richt wordt echter duidelijk dat die uitwisselbaarheid niet geldt, dan gaat het immers om de volledige combinaties van interacties binnen een ecosysteem. Het is van belang te kijken naar de onderlinge relaties tussen de verschillende soorten en 'diensten' in een ecosysteem en de ruimtelijke samenhang (connectiviteit) (Christensen et al., 1996, McLeod et al. 2005, McLeod en Leslie 2009). Ondanks dat niet alle onderlinge processen op het Friese Front bestudeerd zijn, is het wel aannemelijk dat de ecologische waarde van het Friese Front gelegen is in de *samenhang* van de sedimenttypen, soorten en ecologische processen. Om die reden is het ecosysteem van het Friese Front niet uitwisselbaar met bijvoorbeeld het ecosysteem op de Centrale Oestergronden.

Eén van de manieren om de uniciteit van het Friese Front mee te nemen in de afweging van de gebiedsvarianten is door de volledige gradiënt tussen zand -in het zuiden-, over het kerngebied heen van slib (15-20%) naar de diepere slibrijke delen in het noorden mee te nemen. Als bij de gebiedskeuze rekening gehouden wordt met de volledige Noord-zuid gradiënt, is de ecologische waarde van het Friese Front maximaal vertegenwoordigd in de beschermde gebieden. Er zijn twee manieren om de bescherming in te richten. Door de gradiënt in zijn geheel, dus aaneengesloten, in een gebied op te nemen of in stukken. Tijdens de sessies met vissers is duidelijk geworden dat er nadelen verbonden zijn aan grote gesloten gebieden voor de visserij. Gebieden kunnen bijvoorbeeld een obstakel vormen op weg naar de visgronden. Hieronder gaan we in op een aantal ecologische overwegingen die bij deze keuze meespelen.

Gebiedskeuzes: grootte, ononderbrokenheid en connectiviteit.

Eén van de vragen die speelt bij het maken van keuzes in gebiedsgrootte, is of het vanuit ecologisch perspectief uitmaakt of er meerdere kleine gebieden gesloten worden of één groot gebied.

De effectiviteit van een gesloten gebied wordt sterk bepaald door de grootte (oppervlakte / omtrek ratio) van het gebied en het optreden van randeffecten in combinatie met de mobiliteit (connectiviteit) van de te beschermen soorten (PISCO 2011). Bij kleine gebieden lopen of zwemmen mobiele soorten er namelijk makkelijk uit en komen dan alsnog in aanraking met vistuigen buiten de beschermde gebieden. Anderzijds kunnen meerdere grote gebieden het voordeel hebben dat er een breder aantal habitattypen wordt beschermd en de deelgebieden *stepping stones* kunnen vormen voor de verspreiding van een soort. Op de schaal van de te sluiten gebieden in de CO en het FF spelen deze twee factoren een ondergeschikte rol, en hebben we vooral te maken met de randeffecten.

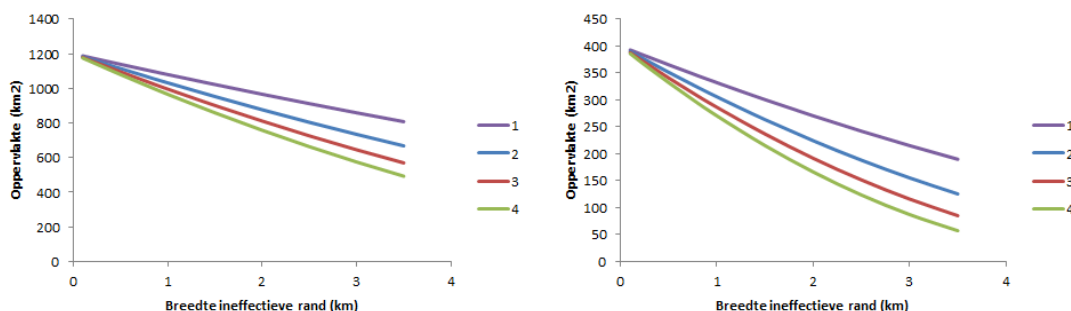
In Bergman et al. (1991) is beredeneerd dat vastzittende soorten slechts kleine gebieden van enkele km² nodig, weinig mobiele soorten enkele tientallen km² en meer mobiele soorten honderden km². Als men het systeem als geheel wil beschermen inclusief vissen wordt een gebied ter grootte van een ICES kwadrant (ongeveer 60x60 km) als minimum genoemd (Bergman et al., 1991). Sluiting van een gebied van 1200 km² (ongeveer 30 x 40 km) zal derhalve geen noemenswaardige bescherming voor vissen kunnen opleveren. Ook wordt er geen verhoogde visserijactiviteit verwacht op de randen van de beschermde gebieden aangezien deze te klein zijn om een *spillover* effect te hebben. De argumentatie is dat het spillover effect toeneemt met de grootte van het gesloten gebied en is het spiegelbeeld van het randeffect zoals hierna beschreven op bladzijde 14. Het bevissen van de rand van een gesloten gebied treedt vooral op bij grote gebieden die als opgroeigebied functioneren, zoals bijvoorbeeld de scholbox. De productie van het gebied trekt naar buiten en creëert een gradiënt van visbiomassa met veel vis binnen en weinig vis buiten het gesloten gebied. In het geval van een relatief klein gesloten gebied zal door diffusie maar een deel van de populatie in het gesloten gebied worden beschermd zodat de gradiënt in visbiomassa minder groot zal zijn. Voor benthos soorten zou gebiedssluiting wel effect kunnen hebben, maar voor welke soorten dit zal gelden, hangt dan af van de grootte van het gebied en het gedrag van de soort. Aangezien er geen specifieke soorten aangewezen zijn om te beschermen is hier tot nu toe nog niet in detail naar gekeken.

Opsplitsing van een aaneengesloten gebied in twee of meer deelgebieden zal de effectiviteit van de bescherming doen verminderen. De mate waarin hangt af van de mobiliteit van de organismen. Om een indruk te krijgen van dit effect is een berekening uitgevoerd die aanneemt dat de oppervlakte van het gebied waar effectieve bescherming geboden wordt, bepaald moet worden aan de hand van de mobiliteit van de soorten die in dat gebied voorkomen. Door de mobiliteit zullen de dieren die aan de rand van het beschermde gebied leven het gebied uit kunnen trekken en daardoor dus minder bescherming ondervinden. In een rekenvoorbeeld gaan we uit van een cirkelvormig gesloten gebied met een straal van 20km (oppervlakte 1256 km²). Voor dieren die de 1 km brede rand van de cirkel verlaten zal de oppervlakte van het gebied met maximale bescherming ongeveer 10% kleiner zijn⁵. Het gebied met effectieve bescherming heeft dan een straal van 19km en een oppervlakte van 1134 km². Als we het te sluiten oppervlak van 1256 km² verdelen over twee gelijke cirkels met ieder een oppervlak van 628 km² en een straal van 14.1 km, dan is de oppervlakte van het effectief beschermde gebied (1085 km²: 2 keer de oppervlakte van een cirkel met een straal van 13.1 km).

Figuur 6 laat zien hoe de effectieve oppervlakte afneemt wanneer een gesloten gebied van 1200 km² (links) en 400 km² (rechts) wordt opgedeeld in 2, 3 of 4 gelijke delen. De simpele berekening laat zien dat het randeffect toeneemt bij kleine gebieden en dat bij meerdere kleinere gebieden het randeffect procentueel steeds groter wordt. Voor een effectieve bescherming zal daarom bij opsplitsing in kleinere gebieden ter compensatie in totaal een groter gebied moeten worden gesloten om tot een effectief beschermd oppervlak van 1200 of 400km² te komen.

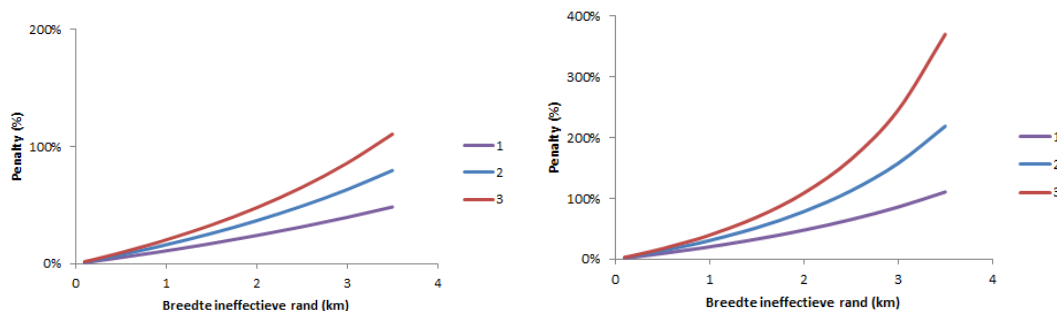
De mate van compensatie hangt af van de mobiliteit van soorten en de mate van opdeling in deelgebieden (Figuur 7). In bovenstaande berekening is uitgegaan van een cirkelvormig gesloten gebied waarbij de randeffecten het kleinst zijn. In de praktijk zal eerder aan rechthoekige gebieden worden gedacht waarbij de randeffecten toenemen naarmate de lange en korte zijde sterker van elkaar zullen verschillen. Bij bovenstaande kwantificering moet worden aangetekend dat dit natuurlijk een sterk vereenvoudigde voorstelling van zaken is. Niettemin geeft het een beeld van hoe de effectiviteit beïnvloed wordt door zowel de grootte als de opdeling in deelgebieden.

Er zijn een paar waarnemingen bekend over de mobiliteit van ongewervelde bodemdieren. Van heremietkreeften is bekend dat zij zich over zo'n vierhonderd meter per uur kunnen voortbewegen (Groenewold en Fonds, 2000). Dit betekent dat de soort per getijcyclus van 6 uur, zo'n 2,5 km kan afleggen. Stel dat we, bij gebrek aan aanvullende kennis, voor de inschatting van de randeffecten uit gaan van een ineffektieve zone van 2.5 km. Bij 1200 km² moet er dan tussen de 30-100 % extra gebied gesloten worden (figuur 7, afhankelijk of het gesplitst wordt in 2 of 4 gebieden) en bij 400 km² 100-400% extra gebied. Voor dieren die slechts 1 km in 6 uur afleggen zou het extra te sluiten gebied respectievelijk 10-20% en 20-40% bedragen.



Figuur 6. Invloed van het randeffect op het effectieve oppervlakte van het beschermde gebied voor een gesloten gebied van 1200 km² (links) en 400 km² (rechts). De 4 lijnen geven de reductie in effectieve oppervlakte door de opsplitsing van het gebied in 2, 3 of 4 gelijke delen.

⁵ De oppervlakte van een cirkel is gelijk aan $3.1416 \cdot r \cdot r$, waarbij r gelijk is aan de straal van de cirkel (πr^2)



Figuur 7. De benodigde compensatie om de gewenste effectieve bescherming te bereiken van een gebied van 1200 km² (links) en 400 km² (rechts). De 3 lijnen geven de reductie in effectieve oppervlakte door de opsplitsing van het gebied in 2, 3 of 4 gelijke delen. De penalty kan worden gelezen als benodigde compensatie dat nodig is om de reductie in effectieve oppervlakte te compenseren.

Connectiviteit speelt ook een rol bij het herstel van de gemeenschap aan bodemdieren, met name de mogelijkheid van rekolonisatie vanuit andere gebieden. Op basis van algemeen ecologische kennis wordt verwacht dat soorten die gekenmerkt worden door een pelagische dispersiefase, en dus over een groot verspreidingsvermogen beschikken, geen unieke lokale populaties vormen maar via de uitwisseling van larven verbonden zijn met leefgebieden in de omgeving (Cowan & Sponaugle, 2009). De schaal waarop uitwisseling optreedt hangt af van de duur van het pelagische stadium en van de sterkte en variabiliteit van de zeestromen.

De mate van connectiviteit tussen de verschillende sedimenttypen op de gradiënt van het Friese Front is nog niet goed wetenschappelijk onderzocht. In het gebied komen zowel soorten met hoge en lage verspreidingsvermogens voor. Van Denderen et al (2015) laat zien dat er een iets minder dan gemiddeld aandeel van soorten met pelagische eieren en/of larven voorkomt. Op grond van de waargenomen variabiliteit in hydrografie wordt verwacht dat de soorten met een pelagisch levensstadium de verschillende kenmerkende sedimenttypen van het Friese Front kunnen bereiken. Voor soorten met een laag verspreidingsvermogen zal dit in mindere mate het geval zijn.

Opsplitsing van een gesloten gebied in kleinere delen heeft mogelijk ook consequenties voor de levensvatbaarheid van populaties. Populaties hebben een minimale dichtheid nodig om zich succesvol te kunnen voortplanten. Opdeling van de populatie vergroot de kans dat de populatiedichtheid onder deze minimale dichtheid zakt. De betekenis van dit proces wordt algemeen onderschreven in de ecologie, maar er is onvoldoende kennis van de specifieke dichtheid-afhankelijke voortplanting en bestaan van soorten op het Friese Front. Opsplitsing zal met name gevolgen kunnen hebben voor soorten met een laag verspreidingsvermogen (lage connectiviteit). Een voorbeeld is de moddergarnaal *Callianassa*. De larven van deze soort blijven dicht bij de bodem en de soort heeft daarmee een laag verspreidingsvermogen. Deze soorten zullen dus gevoeliger zijn voor de opdeling van een gesloten gebied in meerdere kleinere gebieden.

Box3 Connectiviteit versus verspreiding

Het begrip connectiviteit heeft betrekking op de mate waarin deelpopulaties van een soort met elkaar verbonden zijn. Er kan sprake zijn van deelpopulaties in het geval van een opgebroken habitat met daarin bijvoorbeeld zowel slibrijke gebieden en met daarin kleinere gebieden met hard substraat zoals steen.

Verspreidingsvermogen (dispersal) van een soort heeft betrekking op het vermogen zich in de ruimte te verspreiden. Het heeft te maken met de eigenschappen van een soort (verspreid je je nakomelingen via het water of zet je de eieren lokaal af). De omvang van het verspreidingsgebied en de benodigde leefruimte worden bepaald door onder andere habitat eisen, voedsel, lichaamsgrootte, maar niet zozeer door het verspreidingsvermogen.

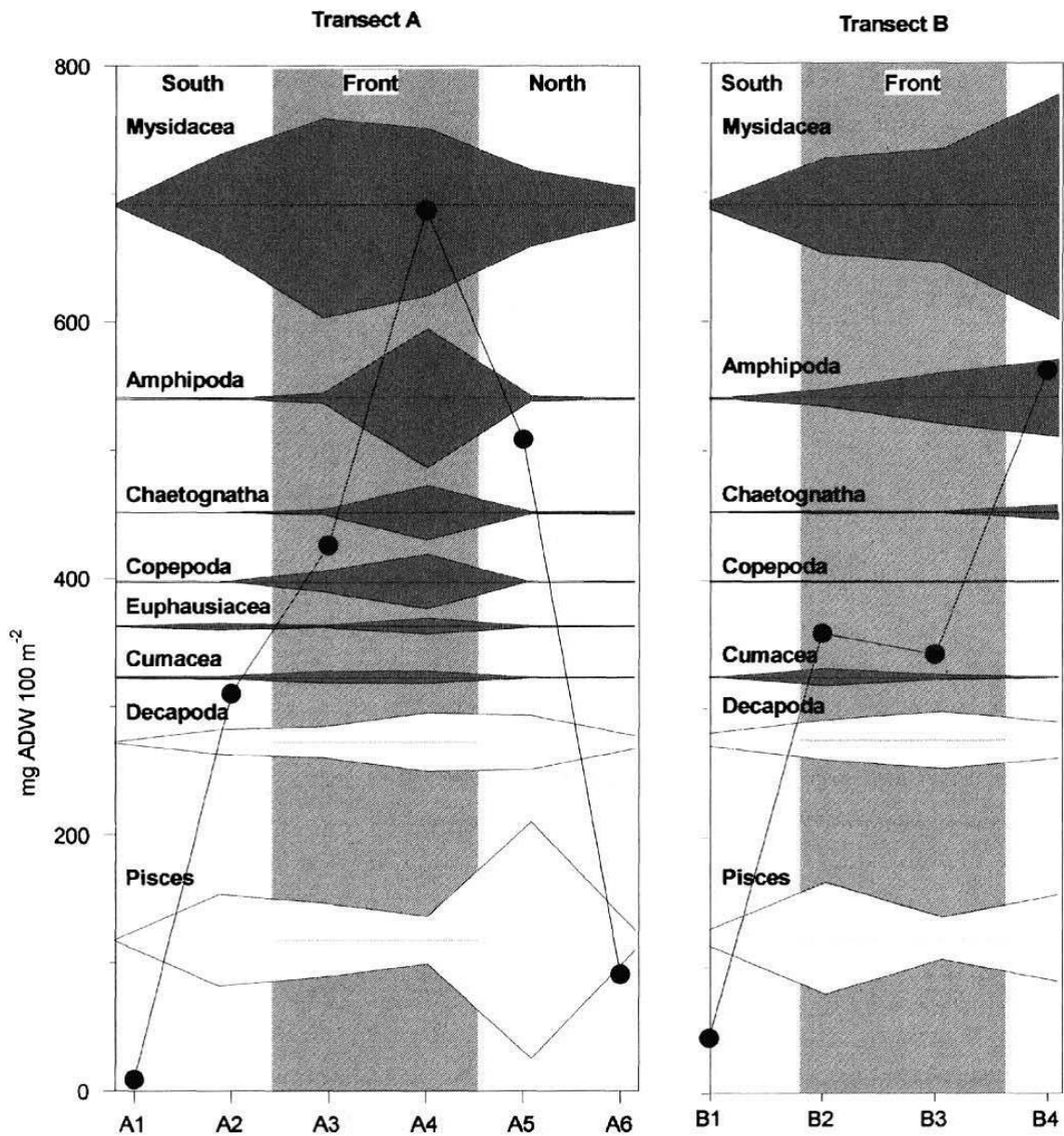
Lage connectiviteit betekent dus niet dat er een beperkt verspreidingsgebied is, en ook niet dat soorten met een beperkte verspreiding maar weinig ruimte nodig hebben.

Verspreidingsvermogen heeft echter wel direct invloed op de herstelsnelheid van een lokale populatie omdat dit de immigratiesnelheid bepaald. Soorten met een laag verspreidingsvermogen zijn kwetsbaarder voor habitatfragmentatie omdat binnen de habitatfragmenten de lokale populaties een grotere kans hebben lokaal uit te sterven.

Niet aaneengesloten "beschermde" gebieden (zoals gesloten gebieden voor visserij) zijn voor het instant houden van populaties vaak afhankelijk van aanvoer van larven van buitenaf. Voor soorten met een lage connectiviteit is die verbinding zwak. Dus als een beschermd gebied opgedeeld wordt en de daaruit ontstane delen te ver uit elkaar liggen, kan er slechts bij toeval nieuwe kolonisatie plaats vinden.

Als er gekozen wordt voor meerdere kleinere gebieden is het de vraag hoe dit zich verhoudt tot het advies rekening te houden met een gradiënt op het Friese Front (zie hoofdstuk 2). Een gradiënt impliceert aaneensluiting, met ook een minimum afstand (in lengte en breedte). Als men besluit een deel van het Friese Front te beschermen heeft het ecologische meerwaarde als alle sedimenttypen over de Noord-zuid lijn binnen dat gebied vallen.

Opsplitsing van het te sluiten oppervlak in een aantal deelgebieden betekent dus dat de effectiviteit van de bescherming verminderd. Hoe groter de opsplitsing hoe lager de effectieve bescherming. Omdat de essentie van het Friese Front wordt gevormd door de gradiënten, is het noodzakelijk dat in ieder geval alle dieptezones en bodemtypen in hun natuurlijke aandeel in het te sluiten gebied (gebieden) voorkomen. Het westelijke deel van het Friese Front heeft dan de sterke voorkeur omdat deze op basis van monitoring soortenrijker is en een hogere biomassa bevat vergeleken met het oostelijke deel (zie figuur 8, waarbij A stations = westelijk deel van het Friese Front, B stations = oostelijk deel) (Dewicke et al. 2002).



Figuur 8. De verdeling van biomassa van hyperbenthos en van de belangrijkste taxonomische groepen langs transecten A (links) en B (rechts) in augustus (goed voor >97% van de totale biomassa). Totale biomassa staat op de y-as en is weergegeven als punten verbonden met een lijn. Biomassa per taxonomische groep is weergegeven als vlieger diagram waarbij dezelfde schaal gebruikt is voor alle taxa (Dewicke et al. 2002).

5 Kunnen deze kenmerken vertaald worden in criteria voor de MKBA?

Het belang van het Friese Front is omschreven in sectie 1. In de MKBA kan dit belang worden gevat in de volgende criteria:

Fractie van het gehele- aaneengesloten- te beschermen Friese Front (de parallelogram) met bescherming van alle daarin voorkomende sedimenttypen op de noord zuid gradiënt- inclusief dat deel van de bodem dat > 20% slib bevat (het geografische Friese Front). De uitwerking kan bestaan om van iedere diepte zone van de gradiënt de oppervlakte te bepalen en vervolgens de verschillende varianten hierop te wegen. De zones van Creutzberg zijn mogelijk een uitwerkingsvorm. Dit vraagt nog nadere bestudering.

Het belang van aaneensluiten van het gebied en randeffecten kan worden gevat in een effectiviteitsfactor waarin de netto effectiviteit van het beschermde gebied is opgenomen en op deze wijze wordt gecompenseerd voor opsplitsen:

De effectiviteitsfactor kan worden berekend als het percentage van het beschermde gebied dat daadwerkelijk effectief wordt beschermd wanneer rekening gehouden wordt met een breedte van de randzone waar dieren door hun beweeglijkheid naar het niet beschermde gebied kunnen migreren.

De bovenstaande suggesties tot aanvullende criteria worden in de studie van de MKBA nader beschouwd op praktische uitwerking met data.

6 Conclusie

In dit rapport is beschreven dat het Friese Front een uniek gebied is door het samengaan van een aantal hydrografische en morfologische factoren resulterend in een hoogproductief gebied met een grote variatie aan sedimenttypen relatief dicht bij elkaar. Het gebied heeft een relatief hoge biodiversiteit en hoge biomassa's bodemdieren. Door de hogere productie concentreren ook vissen en vogels zich in dit gebied.

De overheid heeft IMARES gevraagd hoe hiermee rekening gehouden kan worden bij het ontwerpen van de te beschermen gebieden in het zoekgebied van het Friese Front en de Centrale Oestergronden. Aangeraden wordt om de volledige gradiënt mee te nemen; tussen zand -in het zuiden-, over het kerngebied heen van slib (15-20%) naar de diepere delen in het noorden. Als bij de gebiedskeuze rekening gehouden wordt met de volledige noord-zuid gradiënt, is de ecologische waarde van het Friese Front zo goed mogelijk vertegenwoordigd in de beschermde gebieden.

Dit kan in principe op twee manieren. Door de gradiënt in zijn geheel, dus aaneengesloten, in een gebied op te nemen of in stukken (bijvoorbeeld geschakeld). Bij het opknippen van een gebied in meerdere stukken, moet met een aantal zaken rekening gehouden worden. In het algemeen is de effectiviteit van gesloten gebieden sterk bepaald door de grootte (oppervlakte/omtrek ratio) van het gebied en het optreden van randeffecten in combinatie met de mobiliteit en het verspreidingsvermogen (connectiviteit) van de te beschermen soorten. Als men het te beschermen oppervlakte wil splitsen in meerdere gebieden⁶, zal de totale oppervlakte moeten toenemen om te compenseren voor de ineffectieve zones aan de randen van de gebieden. In dit rapport is met een rekenvoorbeeld geschetst aan welke percentages extra te beschermen gebied gedacht moet worden. De precieze invulling is afhankelijk van de grootte van de ineffectieve zone; deze wordt gebaseerd op de mobiliteit van de te beschermen soorten en afhankelijk van het aantal gebieden waarin het gebied wordt opgedeeld. Daarnaast is het ook goed rekening te houden met de mate van connectiviteit (voor de voortplanting en rekolonisatie van soorten) en met de levensvatbaarheid van populaties. Soorten hebben namelijk ook een minimale dichtheid nodig om zich succesvol te kunnen voortplanten. Aangezien er geen specifieke soorten aangewezen zijn om te beschermen is het lastig om hier nu verder invulling aan te geven.

⁶ Optie in het proces van aan te wijzen gebieden om doorvaarbaarheid (vissend varen) van gebieden te bieden.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Literatuur

Baars, M, S. Oosterhuis, B. Kuipers, 2002. Plume and Bloom. Water Mass patterns and nutrient dynamics in the central part of the southern Bight. NIOZ annual report 2002.

Bergman, M.J.N., Lindeboom, H.J., Peet, G., Nelissen, P.H.M., Nijkamp, H. & Leopold, M.F. (1991). Beschermde gebieden Noordzee – noodzaak en mogelijkheden. NIOZ Report 1991-3 Texel.

Camphuysen C. J. & M.F. Leopold (1994). Atlas of seabirds in the southern North Sea. Den Burg, Texel: NIOZ = Netherlands Institute for Sea Research

Chen, D., Ou H.W., Dong C. 2002. A Model Study of Internal Tides in Coastal Frontal Zone. J. Phys. Oceanogr. 33 170-187

Christensen, N. L., A. Bartuska, J. H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J. F. Franklin, J. A. MacMahon, R. F. Noss, D. J. Parsons, C. H. Peterson, M. G. Turner, and R. G. Moodmansee. 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. Ecological Applications. 6:665-691.

Cowen, R.K., Sponaugle, S., 2009. Larval dispersal and marine population connectivity. Ann. Rev. Mar. Sci. 1, 443–466.

Creutzberg, F, 1985. A persistent chlorophyll a maximum coinciding with an enriched benthic zone. In: P.E. Gibbs. Proc. 19th EMBS, Cambridge University Press, Cambridge 97-108.

Creutzberg, F, P. Wapenaar, G. Duineveld, N. Lopez Loepz, 1984. Distribution and density of the benthic fauna in the southern North Sea in relation to bottom characteristics and hydrographic conditions Rapp. P. v Reun. Cons. int. Explor. Mer 183:101-110.

De Gee A, M.A. Baars, H.W. van der Veer (1991) De ecologie van het Friese Front. Waarnemingen aan een biologisch-rijke zone in de Noordzee, gelegen tussen de zuidelijke bocht en de oestergronden. NIOZ rapport 1991 – 2.

Dewicke, A. V. Rottiers, J. Mees, M. Vincx (2002) Evidence for an enriched hyperbenthic fauna in the Frisian front (North Sea). Journal of Sea Research 47 (2002) 121– 139

Groenewold, S., and Fonds, M. 2000. Effects on benthic scavengers of discards and damaged benthos produced by the beam-trawl fishery in the southern North Sea. –ICES Journal of Marine Science, 57: 1395–1406.

Leopold, 1991. Top predatoren op het Friese Front: Zeevogels en Zeezoogdieren. In; de Gee et al, 1991. NIOZ rapport 1991-2.

Lindeboom, H.J., J. Geurts van Kessel & L. Berkenbosch (2005) . Areas with special ecological values on the Dutch Continental Shelf. Report RIKZ/2005.008. Alterra Report nr. 1203.

McLeod, K. L., and H. M. Leslie, editors. 2009. Ecosystem-Based Management for the Oceans. Island Press, Washington, DC.

McLeod, K. L., J. Lubchenco, S. R. Palumbi, and A. A. Rosenberg. 2005. Scientific Consensus Statement on Marine Ecosystem-Based Management. Signed by 221 academic scientists and policy experts with relevant expertise and published by the Communication Partnership for Science and the Sea [1]

Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. 2012. Mariene strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2012-2020, deel 1. [gevonden op: www.Noordzeeloket.nl – datum 6-8-2015]

Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken. 2014. Ontwerp Mariene Strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2012-2020 (deel 3). [gevonden op: www.Noordzeeloket.nl – datum 6-8-2015]

PISCO (Partnership for interdisciplinary studies of coastal oceans) 2011. The science of Marine reserves (2nd edition Europe) www.piscoweb.org

Sprong, I., Kuipers B.R. & Witte H. 1990. Acoustic phenomena related to an enriched benthic zone in the North Sea. J. Plankton Res. 12: 1251-1261.

Van Denderen, P.D., 2015. Ecosystem effects of bottom trawling. PhD-thesis Wageningen Universiteit.

Van Kooten, T., D. van Denderen, S. Glorius, JT van der Wal, R. Witbaard, P. Ruurdij, M. Lavaleye, D. Slijkerman. 2015 An exploratory analysis of environmental conditions and trawling on species richness and benthic ecosystem structure in the Frisian Front and Central Oyster Grounds. IMARES Report number C037/15

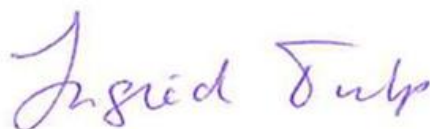
Verantwoording

Rapport C137/15A
Projectnummer: 4301000007-19

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. I.Y.M. Tulp
Researcher

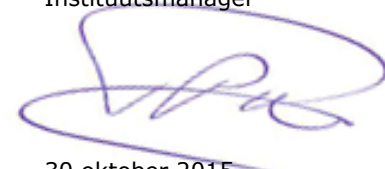
Handtekening:



Datum: 30 oktober 2015

Akkoord: Dr. ir. T.P. Bult
Instituutsmanager

Handtekening:



Datum: 30 oktober 2015

IMARES Wageningen UR
T +31 (0)317 48 09 00
E imares@wur.nl
www.imares.nl

Visitorsadres

- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden
- Korringaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Ambachtsweg 8A, 1785 AJ Den Helder
- Bevesierweg 4, Gebouw MML –
Schiereiland Fort Harssens,
1781 CA Den Helder
- Landsdiep 4, 1797 SZ 't Horntje, Texel



IMARES (Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies) is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

The IMARES vision

'To explore the potential of marine nature to improve the quality of life'

The IMARES mission

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- IMARES is an independent, leading scientific research institute

IMARES Wageningen UR is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of the DLO Foundation have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.
